

# TRATAMIENTOS DE REVENIDO DE LARGA DURACIÓN EN ACEROS DE TEMPLE AL AIRE

*J. Oñoro <sup>(1)</sup>, R. Gamboa <sup>(1)</sup>, M. Roso <sup>(1)</sup>*

## RESUMEN:

Las propiedades mecánicas obtenidas industrialmente en un acero de temple al aire eran inferiores a lo especificado por el fabricante. El sistema de tratamiento térmico estaba diseñado para trabajar en continuo, de forma que las piezas templaran al aire a la salida de un horno túnel donde se realizaba su austenización; dándose posteriormente un tratamiento de revenido. Un estudio de la microestructura obtenida después del temple muestra la presencia de bainita con importantes cantidades de austenita residual. Teniendo en cuenta los medios disponibles, se ha desarrollado un sistema de tratamientos térmicos de revenido de larga duración, alguno de ellos en dos etapas. De esta forma se ha podido obtener una microestructura más favorable, consistente en una combinación de bainita y bainita revenida. Estos tratamientos han conseguido duplicar los valores de límite elástico y carga de rotura, manteniendo la dureza elevada que era un requisito imprescindible de diseño del material.

## 1. Introducción

Los aceros presentan la posibilidad de obtener propiedades mecánicas muy diferentes mediante modificaciones microestructurales, basadas en la variación de los tratamientos térmicos realizados en los diferentes procesos de fabricación [1,2]. La microestructura más idónea dependerá en cada caso de las especificaciones requeridas en servicio para cada pieza o componente. La optimización de cada tratamiento térmico será fundamental para conseguir las mejores prestaciones de cada acero.

Los aceros aleados tienen tendencia a presentar distintas cantidades de austenita retenida cuando no se consigue una transformación completa de la austenita, al situarse la temperatura final de transformación martensítica o bainítica por debajo de la temperatura ambiente [3]. La

transformación de la austenita retenida en bainita se puede conseguir mediante tratamientos isotérmicos a baja temperatura durante tiempos elevados. La microestructura obtenida es función de la composición del material, la cantidad de austenita retenida y la temperatura del tratamiento térmico.

En este trabajo se presentan los tratamientos térmicos desarrollados para un acero aleado templable al aire, con unos hornos de tratamiento térmico definidos, para obtener láminas de acero templadas y revenidas que tengan un límite elástico superior a los 1000 MPa junto con una dureza superior a los 45 HRC y un alargamiento superior al 1%.

## 2. Material y técnica experimental

La fabricación en continuo de piezas de acero aleado obtenidas por temple al aire daba lugar a componentes con propiedades mecánicas inferiores a las especificadas por el fabricante y a las requeridas en servicio. Parecía posible que una optimización del tratamiento térmico que se estaba realizando podría dar lugar a una mejora significativa de las propiedades mecánicas obtenidas hasta el momento.

El acero utilizado eran chapas de 6 mm de acero aleado 90MnCrV8, de composición: 0,90%C, 2,01%Mn, 0,40%Cr, 0,14%Ni, 0,09%V. Una vez templado al aire el acero presentaba una dureza elevada: 60 HRC, pero un límite elástico bajo: 558 MPa. Un análisis de la microestructura del acero templado permitió determinar que la microestructura obtenida en el tratamiento en continuo estaba compuesta por bainita y austenita residual (Fig. 1). El tratamiento de austenización se estaba realizando a una temperatura de horno de 900°C.

El fabricante del acero y la bibliografía [1] recomiendan para este acero temperaturas de austenización de 800°C. Se realizaron tratamiento con temperaturas de austenización de 800 y 850°C obteniéndose microestructuras para 800°C de bainita y carburos (Fig. 2) y para 850°C de bainita, carburos y austenita residual (Fig. 3).

<sup>(1)</sup> Dpto. Ingeniería y Ciencia de los Materiales - ETSI Industriales, Univ. Politécnica de Madrid, España.

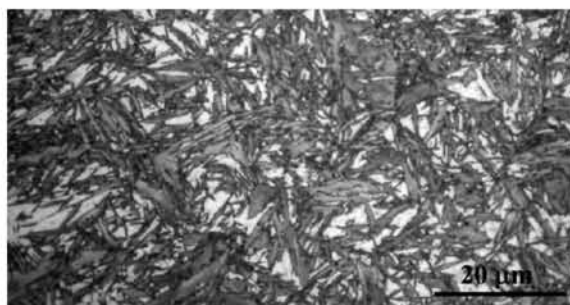


Fig. 1.- Acero 90MnCrV8 templado al aire desde 900°C

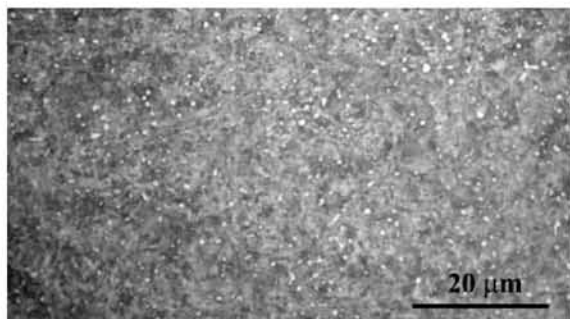


Fig. 2.- Acero 90MnCrV8 templado al aire desde 800°C

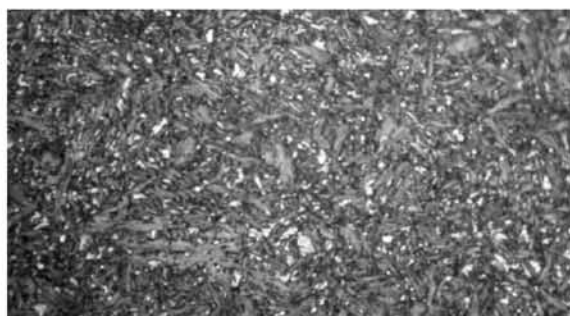


Fig. 3.- Acero 90MnCrV8 templado al aire desde 850°C

Las muestras metalográficas fueron empastilladas, lijadas con abrasivo de carburo de silicio hasta una granulometría de 600 y luego pulidas con abrasivo de alúmina. Posteriormente fueron atacadas con Nital 3 durante quince segundos, para proceder después a su observación al microscopio metalográfico.

Entre las diversas alternativas planteadas para optimizar las propiedades mecánicas finales, teniendo en cuenta las limitaciones de los posibles tratamientos térmicos que se podían realizar, se decidió desarrollar un ensayo de revenido a baja temperatura que permitiera transformar la austenita retenida de la microestructura original (Fig. 1), en bainita. Con este objetivo se realizaron tratamientos térmicos isotérmicos a baja temperatura en hornos de mufla a 200, 250 y 300°C durante tiempos de 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 72, 96 y 120 horas.

Se realizaron ensayos de dureza Rc sobre todas las muestras tratadas térmicamente. También se realizaron ensayos

de tracción sobre determinadas muestras, una vez que se habían seleccionado los tratamientos térmicos más idóneos. Los ensayos se realizaron en una máquina universal MTS con célula de carga de 250 kN. Se determinó el límite elástico, la carga de rotura y el alargamiento de las probetas ensayadas.

### 3. Resultados y discusión

Una vez realizados los tratamientos térmicos se verificó que la dureza obtenida tenía pocas variaciones, produciéndose en todos los casos un descenso lento de la dureza original de 60 HRC durante las 120 horas de tratamiento, obteniéndose 45 HRC en las muestras tratadas a 300°C, 50 HRC en las tratadas a 250°C y 53 HRC en las tratadas a 200°C.

La microestructura en cambio sí presentaba notables diferencias. Después de 120 horas a 200°C la microestructura observada correspondía a una bainita revenida con una importante cantidad de austenita residual (Figura 4). En cambio, después de 9 horas a 250°C la austenita residual había desaparecido (Figura 5), y tras 3 horas a 300°C se había conseguido también su transformación completa (Figura 6).

Viendo que los tratamientos a 300°C permitían mantener la dureza con tiempos de tratamiento más cortos se optó por seleccionar este tratamiento. Aunque metalográficamente tres horas de tratamiento parecían suficientes, se decidió realizar ensayos de tracción sobre muestras tratadas a 300°C durante periodos de 3, 5 y 12 horas para analizar como evolucionaban el resto de las propiedades mecánicas. Los resultados de estos ensayos, así como las durezas obtenidas en cada caso se han recogido en la Tabla 1. Se compara en esta tabla los valores originales del acero templado sin tratamiento de revenido. Como puede observarse los tratamientos de revenido han producido un notable incremento en los valores de límite elástico y carga de rotura con pequeñas modificaciones de la dureza. También se produce un pequeño incremento en los valores de alargamiento, aunque este empieza a ser significativo a partir de las cinco horas de tratamiento.

El tratamiento térmico de revenido durante un tiempo superior 5 horas a 300°C conseguía aunar casi todos los requerimientos del fabricante para el material solicitado, a

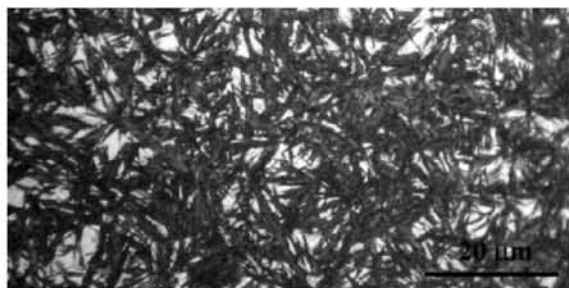


Fig. 4.- Acero 90MnCrV8 templado al aire desde 800°C + 120 horas a 200°C

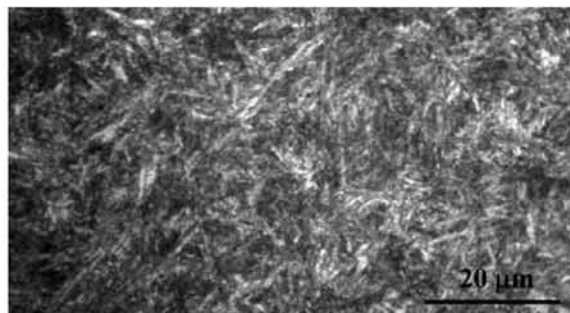


Fig. 5.- Acero 90MnCrV8 templado al aire desde 800°C + 9 horas a 250°C

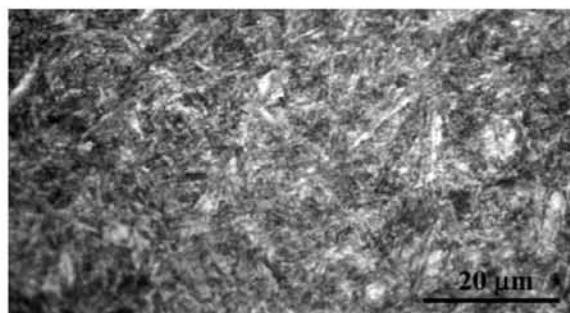


Fig. 6.- Acero 90MnCrV8 templado al aire desde 800°C + 3 horas a 300°C

**Tabla 1.- Resultados de los ensayos mecánicos para los tratamientos de revenido**

Tiempo-Temperatura de revenido (horas-°C)	0	3-300	5-300	12-300	5-300 1-500	5-300 1-500
Límite elástico (MPa)	558	1088	1120	1395	1118	1032
Tensión de Rotura (MPa)	558	1088	1126	1398	1439	1304
Alargamiento (%)	0,1	0,2	0,8	0,8	2,9	5,7
Dureza HRC	60	55	55	55	46	40

excepción del alargamiento que se encontraba ligeramente por debajo de los valores requeridos, un aumento del tiempo de revenido producía una mejora en los valores de límite elástico y tensión de rotura, pero no parecía ser suficiente para mejorar el alargamiento, adicionalmente se alargaba de forma considerable el tiempo de tratamiento.

Para intentar conseguir un aumento de los valores de alargamiento sin reducir significativamente el resto de propiedades se pensó en realizar un segundo tratamiento de revenido a las muestras que habían alcanzado una transformación de la austenita casi completa como era las tratadas durante 5 horas a 300°C y el tiempo de tratamiento era relativamente corto. Se ensayaron tratamientos de revenido de una hora a 500 y 600°C. La microestructura obtenida con ambos tratamientos era muy similar; puede apreciarse en la Fig. 7 la microestructura obtenida después de 1 hora de tratamiento a 500°C, donde se puede apreciar la presencia de bainita y bainita revenida. Sin embargo, los dos tratamientos sí presentaron diferencias significativas en las propiedades mecá-

cas como puede verse en la Tabla 1. El tratamiento a 500°C alcanzaba mayores propiedades mecánicas de límite elástico, tensión de rotura y dureza, pero con menor alargamiento, aunque este estaba claramente por encima de los requerimientos iniciales de superar el 1%. El tratamiento a 600°C producía un alargamiento más elevado pero la dureza descendía por debajo de los 45 HRC requeridos.

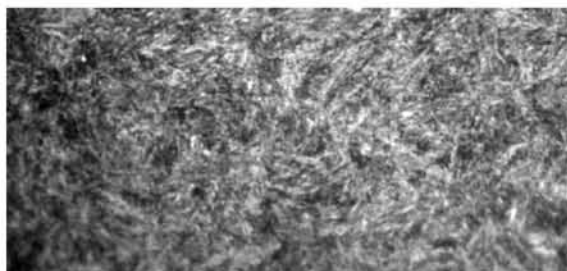


Fig. 7.- Acero 90MnCrV8 templado al aire desde 800°C + 5 horas a 300°C + 1 hora a 500°C

#### 4. Conclusiones

Se ha desarrollado para el acero 90MnCrV8 un tratamiento de revenido contando especialmente con las limitaciones de operatividad del fabricante y tratando de que su proceso productivo requiriese las menores modificaciones posibles. Se seleccionó finalmente como mejor combinación de propiedades el mantener las condiciones de temple al aire que realizaba habitualmente el fabricante y luego dar un tratamiento de doble revenido el primero a 300°C durante cinco horas seguido de un segundo revenido a 500°C durante una hora. Para ello podían utilizarse dos hornos distintos de los que disponía el fabricante.

La microestructura obtenida después del tratamiento de doble revenido ha sido una combinación de bainita y bainita revenida.

Los valores de propiedades mecánicas conseguidos han sido muy elevados habiendo aumentado a más del doble las propiedades mecánicas de límite elástico y tensión de rotura que el fabricante obtenía en su fabricación convencional, manteniendo unos niveles de dureza superiores a los 45 HRC requeridos en sus especificaciones de fabricación. El alargamiento obtenido con este tratamiento ha sido próximo al 3%.

#### 5. Referencias

- [1] ASM Metals Handbook Vol 1. 10th Edit. ASM. 1990.
- [2] J. Apraiz. Tratamientos térmicos de los aceros. 10ª Ed. Ed. Dossat 2000. 2002.
- [3] J.A. Pero-Sanz. Aceros: Metalurgia Física, Selección y Diseño. Ed Dossat 2000. 2004.